

О ядерно-взрывных и близких к этому направлению технологиях

Б. В. Литвинов

Я весьма признателен Демидовскому фонду, присудившему мне Демидовскую премию. Это совершенно неожиданная и очень почетная для меня награда.

Как указано в решении научного Демидовского фонда, премия мне присуждена «за вклад в развитие физики ударных волн, детонации и разработку ядерных устройств, составляющих основу ядерного арсенала России». Действительно, эти три направления исследований и инженерных работ тесно связаны с физикой ударных волн и детонацией химических и ядерных взрывчатых веществ. Однако эти связи возникли не сразу. Открытия и исследования в атомной физике и в исследованиях физики ядра развивались не без труда. Требовалось и создание все более сложных и хитроумных устройств, и сложных теоретических изысканий, сопровождающихся усложнением математического аппарата. Важно отметить и то, что до Второй мировой войны обмен результатами исследований не прекращался, несмотря на все усложняющуюся международную обстановку. Терминология, открытия и их обсуждение в ядерной физике физиками и химиками не засекречивались до тех пор, пока в США не начали создавать атомную бомбу. Как известно из официального отчета о разработке атомной бомбы под наблюдением правительства США, написанного профессором Г. Д. Смитом, «Атомная энергия для военных целей», это произошло летом 1940 г. Этот отчет был опубликован на английском языке в августе 1945 г. и ему предпослано краткое предисловие, написанное руководителем Атомного проекта США генерал-майором Л. Р. Гроувсом. Ввиду краткости содержания этого документа имеет смысл привести его полностью:

«Рассказ о том, как объединенными усилиями многих организаций была создана в Америке атомная бомба, представляет собой увлекательный, но сугубо научный отчет. Разумеется, в данное время этот отчет не может быть написан со всеми подробностями по соображениям военной безопасности. Однако нет причин, по которым историю административно-организационных мероприятий по изготовлению атомной бомбы и основные научные представления, послужившие фундаментом для различных практических выводов, нельзя

было бы сделать достоянием широкой публики. Для этого и издается отчет профессора Г. Д. Смита.

В этой книге содержатся все научные данные, опубликование которых не может нарушить интересы национальной безопасности. К частным лицам или организациям, участвовавшим прямо или косвенно в осуществлении проекта, обращаться с просьбами о сообщении дополнительных сведений не следует. Лица, разглашающие или собирающие любым способом дополнительные данные, подлежат суровому наказанию, предусмотренному законом о шпионаже.

Работа увенчалась успехом благодаря усилиям многих тысяч ученых, инженеров, рабочих и руководящего персонала, чей упорный труд, молчаливая настойчивость и товарищеское сотрудничество сделали возможным описанные ниже беспримерные технические достижения».

Книга эта была переведена под редакцией Г. Н. Иванова, сдана в набор 10 ноября 1945 г. и подписана в печать 30 января 1946 г. По отзывам тех, кто получал эту книгу по спискам, «она сразу становилась настольной». Я купил ее в книжном магазине без проблем, приехав в Москву случайно в середине августа 1946 г., и до сих пор пользуюсь ею как реликвией. Она действительно полезна и служит превосходным начальным пособием, используемым и в моем докладе о физике ядерных процессов, которые в конечном счете сопровождались энерговыделениями, исчисляемыми в тоннах, тысячах тонн (килотоннах) и миллионах тонн (мегатонн) тротилового эквивалента.

Чтобы понять, как возникают такие огромные количества энергии, надо хотя бы кратко рассказать о физике и устройстве ядерных и термоядерных зарядов, которые будем рассматривать как два заметно отличающихся типа зарядов. Но в этих типах зарядов используется энергия ядерных реакций, т. е. взаимодействие частиц вещества, образующих его основу – ядро. Толчком к познанию атома, ядер, ядерных частиц и их взаимодействий, т. е. ядерных реакций, послужило открытие радиоактивности в конце XIX в. Увлекательный мир ядра атома приоткрылся достаточно заманчиво, чтобы к началу Второй мировой войны начать думать о практическом решении задачи овладения энергией ядра урана. Естественно, что мысль в условиях начавшейся войны устремилась к военному применению и материализовалась настолько, что 6 и 9 августа 1945 г. ядерные бомбы практически полностью смели с лица земли два японских города. Это страшный урок всем и навеки, который нельзя забыть и который повис над всеми живущими в мире как меч, готовый обрушиться на любого из нас.

Мы пришли к этому состоянию, идя по пути познания. Нас неудержимо влекло в мир атома, его ядра, протекающих в них процессов, и сейчас меня порой поражает, какой глубины и всесторонности мы достигли. А между тем мы должны понимать, что ядро любого атома химического элемента представляет собой сложнейший и далеко не познанный микромир. Конечно, его надо открывать, как и раньше, с простых понятий. В ядре атома сконцентрирован положительный заряд и, за исключением небольшой части, вся его масса. Электрический заряд атомного ядра, который можно обозначить как Ze , кратен заряду электрона e и целое число Z определяет место атома в периодической таблице Д. И. Менделеева. Ядра с одинаковыми зарядами, но с разными массами называются *изотопами*. На шкале масс наиболее распространенному изотопу – кислороду – приписано численное значение, равное 16. Массы всех ядер близки к целым числам. Ближайшее к значению массы целое число A называется *массовым числом ядра*. Открытие ядерных частиц – положительно заряженного протона (Марсден, 1914 г.), незаряженного нейтрона (Чедвик, 1932 г.) с массой, близкой массе протона (массовое число равно единице), и гипотеза (Д. Д. Иваненко и независимо В. Гейзенберг, 1934 г.), что ядро состоит из нейтронов и протонов, – послужило основанием для модели ядра, состоящего из Z протонов и $N = (A - Z)$ нейтронов. Элементарные частицы, из которых состоит ядро, принято называть *нуклонами*. Диапазон значений Z и A для всех известных ядер простирается от $Z = 0$ (нейтрон) до $Z = 114$ и от $A = 1$ (протон или нейтрон) до $A = 296^1$. Из факта существования стабильных и нестабильных, т. е. самопроизвольно распадающихся ядер, вытекает, что нуклоны связаны силами взаимодействия и требуется энергия как для соединения нуклонов, так и для разделения. Энергию, необходимую для разделения нуклонов, принято называть *энергией связи*. В книге Л. Айзенбуда и Е. Вигнера «Структура ядра» (1959) ее обозначили буквой B . Энергию связи, учитывая эквивалентность массы и энергии (Эйнштейн, 1905 г.), принято вычислять по разности между массой ядра и суммой масс составляющих его нуклонов. Эту разность будем обозначать DM и назовем ее *дефектом массы*, а скорость света – c . Тогда

$$B = DMc^2$$

Теперь введем обозначения: $M(Z, N)$ – масса нейтрального атома, Z – протоны, N – нейтроны. M_H – масса нейтрального атома водорода и M_n – масса нейтрона. Тогда энергию связи можно записать как

$$B(Z,N) = [M_{\text{H}}Z + M_{\text{n}}N - M(Z,N)]c^2.$$

В этой записи используется масса нейтрального атома водорода M_{H} , а не масса протона – тем самым учитывается вклад электронов в массу нейтрального атома. Величина B обычно измеряется в Мэв ($1 \text{ Мэв} = 10^6 \text{ эв}$). Соотношение между единицей массы в шкале изотопа кислорода O^{16} и энергией в Мэв имеет вид: 1 единица массы = 931 Мэв.

Энергия связи, отнесенная к одному нуклону B/A на один нуклон для средних и тяжелых ядер приблизительно постоянна и составляет около 8 Мэв. Анализ распределения энергии связи на нуклон имеет вид выпуклой кривой. В начале кривой энергия связи мала. В ядре атома водорода один протон. При присоединении к нему нейтрона образуется изотоп, названный дейтерием, энергия связи этой пары нуклонов равна 2,18 Мэв, а на один нуклон $E/A = 1,09 \text{ Мэв}$. Третий изотоп водорода – тритий, состоящий из одного протона и двух нейтронов, радиоактивен с периодом полураспада 12,34 лет и имеет энергию связи 8,3 Мэв, а $E/A = 2,8 \text{ Мэв}$. Следующая группа изотопов состоит из гелия-3 ($E = 7,5 \text{ Мэв}$ и $E/A = 2,5 \text{ Мэв}$) и гелия-4 ($E = 28, 2 \text{ Мэв}$, $E/A = 7,0 \text{ Мэв}$). У изотопов от аргона-40 до олова-120 $E/A \sim 8, 6$ и, наконец, у радиоактивного урана-238 энергия связи несколько меньше среднего значения и падает до $E/A = 7,5$. Таким образом, наименьшее значение величины E/A находится на краях кривой зависимости энергии связи на нуклон от массового числа A . Эта особенность распределения энергии связи нуклонов в ядре используется для извлечения энергии из ядра путем соединения легких ядер (например, дейтерия с дейтерием, дейтерия с тритием, трития с тритием и т. д.) и деления тяжелых ядер урана-235 и тория-232. Именно использование ядерной реакции деления тяжелых ядер привело к созданию атомной бомбы.

Ученые открыли свойство тяжелых ядер делиться как самопроизвольно, так и при целенаправленном попадании в них нейтронов. При этом ядро делится на две части и при этом испускаются мгновенно от 2 до 3 нейтронов и гамма-кванты (фотоны). Несколько позже из двух частей ядра (их называют *осколками деления*) еще выделяются *запаздывающие* нейтроны. Нейтроны, возникающие сразу же при делении, способны попасть в неразделившиеся ядра и вызвать новые деления. Процесс начинает развиваться лавинообразно, или по типу «цепной реакции». Процессом деления можно до определенного уровня его развития управлять, и это позволяет использовать его для выработки энергии – тепла или электричества. Если процессу деления не пре-

пятствовать, то он при достаточном количестве делящегося материала и его определенной геометрии разовьется во взрыв. Количество и геометрия делящегося материала в сильнейшей степени определяют развитие цепной реакции. Если вещества мало или оно собрано некомпактно, например в форме тонкой палки, то количество нейтронов, покидающих материал, будет больше количества нейтронов, делящих ядра. В палке сильно развита поверхность, через которую легко покидать вещество палки. Поэтому требуется создать условия компактности делящегося материала, чтобы из него через поверхность выходило меньшее число нейтронов, вызывающих деление ядер в веществе. Очевидно, нетрудно создать условия равенства потерь нейтронов и размножения числа делений, т. е. увеличения числа нейтронов в образце делящегося материала. В этом случае говорят о его *критическом* состоянии. Развитие деления ядер будет стремительно нарастать при сверхкритическом состоянии, в сверхкритической системе, объеме или массе. При докритическом состоянии развитие процесса деления невозможно.

Таковы азы процессов деления. В заключение скажем, что при делении одного килограмма урана-235 выделяется практически мгновенно энергия, эквивалентная взрыву почти 20 тыс. т (20 килотоннам) тринитротолуола (тротила). Кроме урана-235 аналогично могут делиться такие искусственные (отсутствующие в природе) делящиеся ядерные материалы, как уран-233 и плутоний-239.

На рис. 1 представлен весьма упрощенный производственный цикл, который можно назвать «циклом от сырья к бомбе», не нуждающийся, по моему мнению, в пространном пояснении.

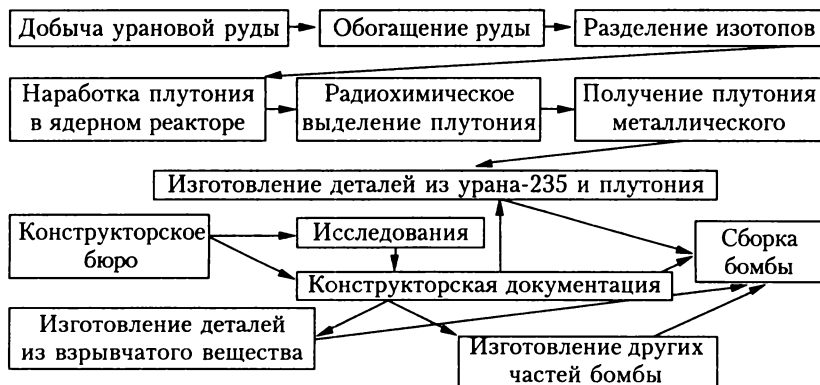


Рис. 1. Производственный цикл от сырья к бомбе

Для получения ядерных материалов, в том числе и упомянутых здесь, используются весьма сложные технологические процессы (рис. 2).



Рис. 2. Получение ядерных материалов

Первым в последовательности технологических процессов являются процесс добычи урановых или ториевых руд, извлекаемых, как правило, из горных пород. Значение тория до сих пор незначительно по сравнению с ураном из-за большей сложности переработки ториевых руд и получения урана-233 из тория в ядерных реакторах. Содержание урана в урановых рудах в 0,1 % и даже меньше считается достаточным для промышленной добычи урана. Добытая руда обогащается и поступает на урановый завод, где перерабатывается в окись-закись урана U_3O_8 , которая поступает на аффинажное предприятие, перерабатывающее твердую окись-закись урана в газ гексафторид урана UF_6 , который поступает на предприятия по разделению урана на изотопы уран-235 и уран-238.

В разные годы и в разных странах промышленное разделение изотопов урана производилось разными методами и началось оно со времен Второй Мировой войны в США. В разное время в разных странах использовались и используется такие методы разделения изотопов урана:

- 1) газовая диффузия сквозь пористые перегородки;
- 2) электромагнитная сепарация;
- 3) применение высокооборотных центрифуг с магнитной подвеской ротора;

4) диффузионное разделение с помощью сопел Лавалю;

5) применение мощных лазеров.

В качестве диффундирующего газа в этих технологиях использовался и используется гексафторид урана (UF_6). Производительность разделения урана теперь доведена до получения нескольких килограммов уран-235 в сутки. Надо отметить, что непревзойденными по производительности и надежности стали газовые центрифуги, созданные в СССР под руководством профессора Ланге. Обычно уран-235 обогащается до 90 или 95 % и в твердом виде поступает для изготовления деталей для ядерных бомб. Уран-235, обогащенный от 4 до 12 %, перерабатывается в виде двуокиси урана UO_2 в тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ), из которых делают ядерное топливо для ядерных реакторов. Конструктивно это очень сложные и громоздкие стационарные установки, которые требуют очень квалифицированной эксплуатации. Нынешнее основное назначение ядерных реакторов – производство электроэнергии. Первым назначением ядерных реакторов были исследовательские физические установки для различных исследовательских целей, в том числе и для наработки из урана плутония. Потом в ядерных реакторах (сначала в США, а затем в СССР и в других странах) стали набирать оружейный плутоний-239. Это слово означает, что в процессе облучения нейтронами урана получается очень сложная смесь самых разных изотопов, состоящая как из продуктов деления урана, включая и образующиеся в результате ядерных реакций различные изотопы плутония и даже непореогированный уран. Время от времени вся эта страшная по уровню радиоактивности смесь извлекается и, пройдя сложный процесс химической переработки, в конце концов доводится до двуокиси смеси изотопов плутония, до требуемого по документации содержания. Потом двуокись плутония-239 с примесями других изотопов плутония перерабатывается в металл, из которого позже изготавливают нужные для ядерных зарядов детали.

Прежде чем перейти к технологиям ядерных и термоядерных зарядов, надо обратить внимание на то, что огромная масса технологических процессов, протекающих в атомной промышленности, создает, наряду с нужными для промышленности, ядерные материалы, которые, как правило, радиоактивны, токсичны и опасны; существуют и отходы ядерной промышленности, которые тоже радиоактивны, токсичны, опасны и к тому же никому не нужны. Это плата за прогресс, за самопроизвольно протекающий процесс открытий, за которым следует сознательно ускоримый процесс производства, сопровождающийся,

наряду с созданием полезных продуктов, и созданием вредных продуктов, представляющих собой оборотную сторону медали.

Ядерные заряды относятся к ядерным взрывным устройствам и разделяются на два типа, отличающихся протеканием физических процессов, приводящих в конечном итоге к переходу через критическое состояние. В одном типе – делящееся ядерное вещество (например, металлическая разновидность урана – уран-235) – состоит из двух докритических частей, разделенных зазором (если это полусферы) или это полый цилиндр, в который вдвигают сплошной цилиндр («пушечное» сближение).

В другом типе взрывного ядерного устройства протекают более сложные процессы. (В дальнейшем будем использовать в понятиях взрыва химического взрывчатого вещества специфическое слово «детонация», эквивалентное слову «взрыв».) Исследуя воздействие взрыва на вещество, ученые установили, что давлением взрыва можно увеличивать плотность металла. Увеличение плотности есть не что иное, как сближение ядер вещества и снижение длины пробега нейтронов. Исследования воздействия взрыва на металлы выявили, что при всестороннем сжатии металлического шара сферической оболочкой из взрывчатого вещества к определенному моменту взрывного процесса вещество в шаре окажется сжатым в центре шара больше, чем на его поверхности. Это явление получило название «имплозия», от английского слова «импложн», что переводится как «направленный внутрь взрыв», отражая одним словом весь процесс всестороннего сжатия вещества. В первом взрывном ядерном устройстве, подорванном в пустыне Аламогордо, штат Нью-Мексико, 16 июля 1945 г., всесторонний подрыв взрывчатого вещества был реализован взрывом 32 зарядов, специальной формы. Каждый из этих зарядов имел сложную форму и получил название «элемент фокусирующей системы». Основным назначением всех фокусирующих систем ядерных зарядов (рис. 3), независимо от того, как они сконструированы, является преобразование расходящейся детонационной волны в сходящуюся. Только такая детонационная волна, устремляясь к центру шара, будет увеличивать плотность сжимаемого вещества до огромных давлений. Фокусирующая система (ФС) первой американской атомной бомбы собиралась из элементов фокусирующей системы в полый шар из химический взрывчатых веществ (ХВВ). Каждый элемент ФС состоял из двух слоев (рис. 4). Верхний слой ХВВ был из смеси взрывчатых веществ тротила и гексогена. Наружная поверхность этого слоя была сферической, внутренняя имела вогнутую форму, похожую на

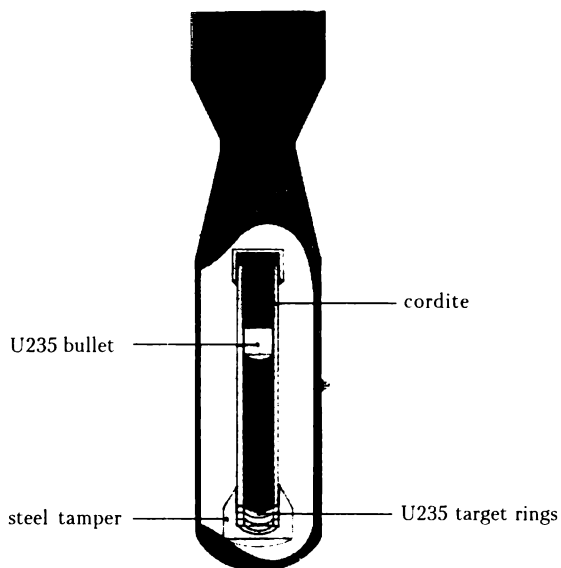
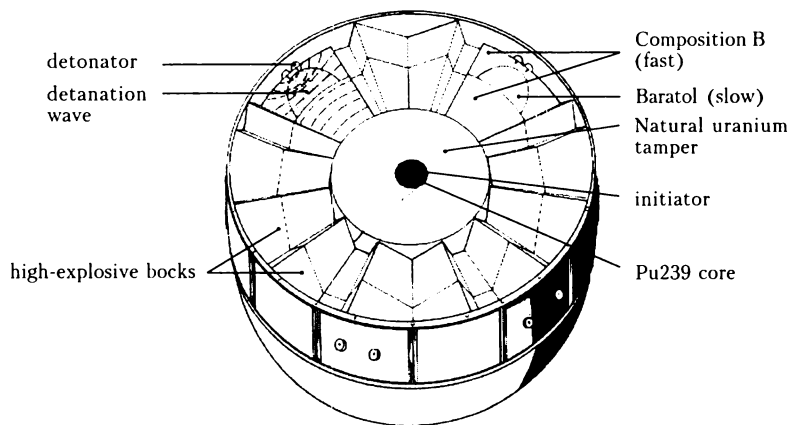


Рис. 3. Ядерные заряды: сверху – имплозивный, внизу – на сближении (из кн.: Rhodes R. The making of the Atomic Bomb, 1986)

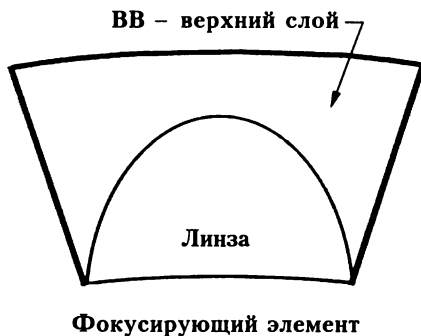
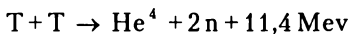
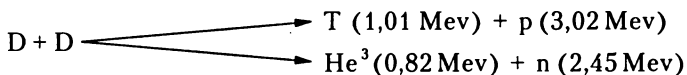


Рис. 4. Фокусирующий элемент из двух взрывчатых деталей, контактирующих между собой по сложной поверхности: верхняя деталь – из быстро детонирующего ВВ (например, тротил), нижняя – из медленно детонирующего ВВ (например, боратола)

параболическую. Второй слой ХВВ был из смеси взрывчатых веществ тротила и бариевой селитры (боратола). Наружный слой из этого ХВВ был выпуклым и в точности повторял форму вогнутого верхнего слоя. Внутренняя поверхность боратоловой детали была сферической. При подрыве в центре верхнего слоя такого слоенного пирога возникала расходящаяся детонационная (взрывная) волна, которая инициирует взрыв нижнего слоя. Взаимодействие взрывов этих слоев приводит к изменению профиля детонационной волны и она из расходящейся преобразуется в сходящуюся. Очевидно, что взрыв 32 элементов необходимо было синхронизовать с минимально возможным разбросом между временем инициирования каждого из них. В этом случае образовывалась практически сферическая сходящаяся детонационная волна, сжимающая металлические шары до порядка десятков миллионов атмосфер вблизи их центра.

В момент максимального сжатия делящегося материала (или делящихся материалов) необходимо впрыснуть в него (или в них) достаточно интенсивный и кратковременный импульс нейтронов, чтобы начался интенсивный процесс деления. Есть много причин, которые могут исказить благоприятное сочетание влияющих факторов и вызвать неполный, преждевременный ядерный взрыв (НВ). Одним из эффективных методов предупреждения НВ и повышения эффективности процесса деления является введение в конструкцию делящихся материалов смеси изотопов водорода дейтерия (D) и трития (T).

Начавшееся деление ядерного материала вызывает быстрый рост температуры во внутренних слоях конструкции, который инициирует процесс одной из ядерных реакций слияния (синтеза), идущих по одной из ниже указанных схем:



Реакции синтеза в смеси газов дейтерия и трития сопровождаются рождением нейтронов разных энергий. Эти нейтроны будут делить еще непрореагировавшие ядра урана или плутония, увеличивая общую энергию в системе. Этот процесс иногда называют «процессом усиления деления».

Прежде чем перейти к наиболее мощным поражающим взрывным устройствам, надо напомнить о том, что в семействе взрывных устройств достойное место занимают взрывные устройства для разных невоенных целей, включая и научные. Первооткрывателем исследований процессов сжатия самых разных веществ с помощью сферических детонационных волн в СССР был профессор Л. В. Альтшулер, долгие годы возглавлявший это направление исследований в нашей стране. Им создана прекрасная научная школа, получившая мировое признание. В нашем институте в годы, когда было возможно проведение подземных ядерных взрывов, были выполнены уникальные исследования веществ, сжатых сверхмощными ударными волнами, возникающими вблизи ядерного взрыва. Интересным оказалось изучение сохраненных после сжатия сходящимися сферическими детонационными волнами самых различных веществ, включая горные породы и минералы, которое проводилось в двух институтах – Технической физики имени акад. Забабахина и Физики металлов УрО РАН – при моем участии.

Вернемся к ядерным взрывным устройствам. Заметно увеличить энерговыделение ядерного взрыва оказалось возможно в термоядерных зарядах, в которых используется последовательность процессов деления и *фотонной имплозии*, разделенных во времени и пространстве. Процесс ядерного деления, как мы уже говорили, создает мощный поток фотонов, опережающий все другие частицы. Если заключить ядерный взрыв в замкнутую металлическую оболочку, то падающие на эту оболочку фотоны частично отразятся от нее вовнутрь оболочки,

частично испарят ее внутреннюю часть, при этом испарение металлической оболочки внутрь происходит столь стремительно, что сохранившейся металл с такой же скоростью раздувается во все стороны и вскоре теряет сплошность. До этого момента фотоны многократно испытывают отражение от стенок металлической оболочки. Если на некотором расстоянии от взорвавшегося ядерного заряда поместить сферическую металлическую оболочку, то падающие на эту сферу фотоны вызовут процесс, похожий на тот, который происходит с наружной металлической оболочкой, только у внутренней сферической оболочки испарение металла вызовет сферическое сжатие неиспаренного металла. Это и есть процесс фотонной имплозии: сферическая оболочка сжимается вовнутрь и будет сжимать любое вещество, помещенное в эту оболочку, до температур ядерного синтеза.

Простейшую конструкцию, использующую фотонную имплозию, можно изобразить подобно изображенной на рис. 5. Даже на этой прос-

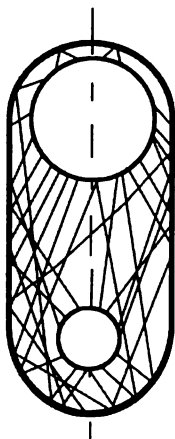


Рис. 5. Схема фотонной (радиационной) имплозии

той схеме видно, насколько конструктивно термоядерный заряд сложнее ядерного и его физика заметно сложнее. Не случайно американцам первым удалось в 1952 г. реализовать термоядерное взрывное устройство, весьма далекое от практической конструкции. В СССР в 1955 г. ядерное взрывное устройство было реализовано сразу как термоядерный заряд, приспособленный для использования в авиационной бомбе.

На этом можно было бы и закончить краткий обзор сведений, который дает вполне реальное представление о процессах в ядерных

и термоядерных зарядах, а также о технологиях, связанных с ними, но мой доклад я считал бы неполным, не остановившись на двух вопросах, которые мне представляются важными.

Первое, это то, что, судя по происходящему в мире, устремление в будущее не мыслится без использования атомной энергии в военных целях. Холодная война, к счастью, не перешла в «горячую», но не худшая часть человечества много времени, просто незаслуженно много, уделила ядерному вооружению и очень мало уделила ядерной науке. Создав ядерное оружие, запретив его испытания на неопределенный срок и не приняв решительных мер к всемирному и безоговорочному уничтожению ядерного оружия, мы породили новую серьезную проблему. Суть этой проблемы состоит в том, что сколько бы долго ученые ни заявляли о поддержании ядерного оружия в бое-способном состоянии без ядерных испытаний, такому состоянию когда-нибудь придет конец. Система поддержания обеспечения работоспособности ядерного оружия очень сложна, многофункциональна, и в ней наиболее слабым звеном являются люди. Можно построить сложнейшие системы расчетов управления рисками, но люди остаются людьми. Они были и останутся наиболее непредсказуемыми элементами любой системы. К сожалению, я не видел серьезных предложений, как решить задачу долговременного поддержания ядерного оружия в бое-способном состоянии, тогда как решение этой задачи имеет самое первоочередное, самое неотложное значение. Сложилась весьма странная ситуация: страны, владеющие ядерным оружием, не предпринимают решительных действий ни к его уничтожению, ни к совместным действиям для оценки степени риска его сохранения при различных ситуациях продления его длительного существования.

Еще об одной нерешенной проблеме. В 50-х г. XX в. в разных странах возникла идея использования термоядерной энергетики – бесконечно долгого ее использования. Прошло почти 50 лет, но за это время решение проблемы термоядерной энергетики, если говорить по-серьезному, не продвинулось. Сейчас объявили, что веком энергетики станет использование энергии газа водорода, что, как известно, не имеет ничего общего с термоядерной энергетикой. Водород всего лишь разновидность горючего, которое сгорает, сгорает очень эффективно, но сгорает, т. е. при сгорании поглощает кислород и усиливает отрицательные эффекты сгорания. Возможно, их можно со временем преодолеть, но это в будущем. Так уж привыкли люди, что сначала они видят положительные стороны новых открытий, а потом начинают устранять их отрицательные стороны.

В то же время почти никто не говорит о том, что один из способов реализации термоядерной энергетики достигнут. В ядерных центрах России в 60–70-х гг. XX в. были проведены ядерные взрывы, в которых были реализованы энерговыделения при сгорании дейтерия. В России в 1997 г. в г. Снежинске вышла книга «Взрывная дейтериевая энергетика». Ее авторы физики Г. А. Иванов, Н. П. Волошин, А. С. Ганеев, Ф. П. Крупин, Б. В. Литвинов, С. Ю. Кузьминых, А. И. Свалухин, Л. И. Шибаршов убедительно показали, что написанное ими – не химера, не измышления ученых, а основа для реализации серьезного технического проекта. В этом убеждается все больше и больше людей, имеющих в России трезвое и непредвзятое мышление о реальности и фантастике. В конце 90-х гг. в Москве состоялась любопытная конференция. Ее организаторами и инициаторами выступили бельгийские менеджеры и создатели техники будущего. Они решили узнать, что думают о будущем русские. Среди многих проектов был и проект Геннадия Алексеевича Иванова и его товарищей «КВС: котел взрывного сгорания», в котором были представлены результаты исследований, начатые книгой «Взрывная дейтериевая энергетика». Это проект неожиданно для нас получил наивысшую оценку. Многие звонили нам и спрашивали, почему не реализуется этот проект. По этому поводу можно сказать, что реализация этого проекта возможна, начав среди прочих работ проведение мирных ядерных взрывов. При этом надо приветствовать широкое международное участие в реализации проекта «КВС».

В заключение я еще раз благодарю Демидовский фонд и прошу его устроителей издать сборник лекций, прочитанных лауреатами Демидовской премии, учитывая несомненную научную и инженерную пользу этих выступлений.